基于MATLAB的机器人动力学仿真与控制

王晓明，宋 吉，郑继新
（兰州理工大学 电气工程与信息工程学院，甘肃 兰州 730050）

摘要： 为研究机器人的关节动力驱动，通过MATLAB建立机器人Simulink主程序，并写入控制器子程序，在仿真环境中调整相应参数，得到机器人的动力学仿真参数，对机器人的正逆动力学进行分析，直观的显示了每个关节的驱动力矩大小。通过对机器人的计算力矩与反馈力矩的仿真分析，为进一步精确控制机器人力矩提供参考。仿真实验表明，所设计的动力学参数是正确的，从而达到了预定的目标。

关键词： 机器人；动力学；MATLAB；仿真

中图分类号： TN242.2 **文献标识码：** A **文章编号：** 1674-6236（2019）13-0139-04

MATLAB-based robot dynamics simulation and control

WANG Xiao-ming，SONG Ji，ZHENG Ji-xin
（*School of Electrical Engineering and Information Engineering*，*Lanzhou University of Technology*，*Lanzhou* 730050，*China*）

Abstract: In order to study the dynamic drive of the robot´s joints, the main program of the robot Simulink was established through MATLAB, and the controller subroutine was written. Corresponding parameters were adjusted in the simulation environment to obtain the dynamic simulation parameters of the robot. Through the simulation and analysis of the calculated and feedback moments of the robot, the reference is provided for further precise control of the robot moments. The simulation results show that the designed dynamic parameters are correct and achieve the predetermined goal.

Key words: robot; dynamics; MATLAB; simulation

DOI:10.14022/j.cnki.dzsjgc.2019.13.030

机器人运动学研究了机械手在空间的运动与各个关节运动之间的关系。但是对于如何控制驱动机器人的运动，运动学并未解决[1]。假如仅仅使用运动学方法，虽然能够完成相关功能，但是响应速度不能满足实际运行要求，也更浪费能量[2]。与运动学不同的是，机器人的动力学分析可以联合控制机器人各关节之间的驱动。所以，为了精准控制机器人的运动，完成实际预期工作，得到更精确、优化的仿真结果，还必须建立机器人的动力学模型[3]。为了提高机器人控制效率，采用虚拟机械系统进行动力学分析，通过输出位移、速度、加速度和反作用力曲线，用来预测机器人系统的性能、运动范围、碰撞检测、峰值载荷、仿真精度和可靠性[4]。

1 动力学分析

在机器人领域，对于机器人动力学的研究主要集中还在机器人各关节的关节位置、速度、加速度与各关节执行器驱动力矩之间的关系[5]。机器人动力学是机器人力控制的基础，也是研究机器人学中最核心的部分。本次仿真采用Matlab Robotics Toolbook工具箱中的动力学计算函数如下：

1）机器人的正动力学：已知各关节的电机提供的力矩，求对应的各个关节的角度、角速度、角加速度信息。

[T，q，qd] = R.fdyn（T, torqfun）

其中，T表示时间间隔，就是采样时间。关节力矩是由用户提供的控制函数torqfun计算：

收稿日期： 2018-11-05 **稿件编号：** 201811016
基金项目： 甘肃省工业过程先进控制重点实验室（XJK201522）；甘肃省自然科学基金（1508RJZA090）
作者简介： 王晓明（1954—），男，甘肃民勤人，教授。研究方向：计算机控制技术。

TAU = TORQFUN(T, Q, QD)

其中,q和qd分别是给定机器人关节坐标和速度状态,而T是当前时间。在指定初始角度和初始速度的情况下:

[T,q,qd] = R.fdyn(T, torqfun, q0, qd0)

其中,q0和qd0分别是机器人的初始角度和角速度。

也可以确定力矩函数中所含的参数:

[T, q, qd] = R.fdyn (T1, torqfun, q0, qd0, ARG1, ARG2, ...)

TAU = TORQFUN

(T, Q, QD, ARG1, ARG2, ...) 如果机器人是由PD控制器来控制,我们可以定义一个函数计算控制:

function tau = mytorqfun(t, q, qd, qstar, P, D)

tau = P*(qstar-q) + D*qd;

然后将机器人动力学与控制结合起来:

[t, q] = robot.fdyn (10, @mytorqfun, qstar, P, D);

2)机器人的逆动力学:已知关节的角度、角速度、角加速度信息,求各关节所需提供的力矩。

tau = R.rne(q, qd, qdd)

其中,tau是关节力矩,q、qd、qdd分别是关节的角度、角速度、角加速度。如果机器人末端收到作用力,则调用格式如下:

tau = R.rne(q, qd, qdd, grav, fext)

fext =[Fx Fy Fz Mx My Mz]

其中,grav是重力加速度,fext为末端所受力。

以下是求解机器人的关节力矩编程指令,这顶6连杆机器人的D-H坐标、关节范围、连杆质量、电机惯量、传动比、连杆惯性矩阵、质心矢量,显示机器人关节力矩仿真结果如下。

%D-H th d a alpha

L(1) = Link([0 0.412 0 -pi/2 0]); L(2) = Link([0 0.154 0 pi/2 0]); L(3) = Link([-pi/2 0 0 0 1]); L(4) = Link([0 0 0 -pi/2 0]); L(5) = Link([0 0 0 pi/2 0]); L(6) = Link([0 0.263 0 0 0]);

%关节范围

L(1).qlim = [-170 170]*pi/180;

L(2).qlim = [-170 170]*pi/180;

L(3).qlim = [12 12+38] * 0.0254;

L(4).qlim = [-170 170]*pi/180;

L(5).qlim = [-90 90]*pi/180;

L(6).qlim = [-170 170]*pi/180;

%连杆质量

L(1).m = 9.29;

L(2).m = 5.01;

L(3).m = 4.25;

L(4).m = 1.08;

L(5).m = 0.630;

L(6).m = 0.51;

%电机惯量

L(1).Jm = 0.953;

L(2).Jm = 2.193;

L(3).Jm = 0.782;

L(4).Jm = 0.106;

L(5).Jm = 0.097;

L(6).Jm = 0.020;

%传动比

L(1).G = 1;

L(2).G = 1;

L(3).G = 1;

L(4).G = 1;

L(5).G = 1;

L(6).G = 1;

%连杆惯性矩阵

L(1).I = [0.276 0.255 0.071 0 0 0]; L(2).I = [0.108 0.018 0.100 0 0 0]; L(3).I = [2.51 2.51 0.006 0 0 0]; L(4).I = [0.002 0.001 0.001 0 0 0]; L(5).I = [0.003 0.0004 0 0 0 0]; L(6).I = [0.013 0.013 0.0003 0 0 0];

%质心矢量

L(1).r = [0 0.0175 -0.1105];

L(2).r = [0 -1.054 0];

L(3).r = [0 0 -6.447];

L(4).r = [0 0.092 -0.054];

L(5).r = [0 0.566 0.003];

L(6).r = [0 0 1.554];

DENSO = Serial Link(L, ´name´, ´DENSO´); %建立机器人对象

t=0:0.056:1.5;

qz = [0 0 0 0 0 0]; %初始关节角度 qr = [0 pi/2 -pi/2 0 0 0];%终止关节角度 [q,qd,qdd]=jtraj(qz,qr,t);%关节轨迹规划

tau=rne(DENSO，q，qd，qdd)；%关节力矩 fext=[1 1 1 1 1 1]; %末端受力

grav=[0 0 9.8]; %重力加速度 tau1=rne(DENSO，q，qd，qdd，grav，fext)；%末端受力情况下的关节力矩仿真结果为：

tau =

0.0000 -2.9259 63.4707 0 0 0
15.2222 852.7177 105.7109 0.0000 -0.0000 0.0000
-18.9581 -318.4226 127.2532 0.0000 -0.0000 -0.0000
0.0000 360.3566 -0.0000 0.0000 -0.0000 0.0000

tau1 =

0.8460 -3.6599 64.4060 1.0000 1.2630 1.0000
15.6706 851.5609 106.6497 1.0000 1.2630 1.0000
-18.8506 -320.7271 128.2323 1.0000 1.2630 1.0000
0.1538 357.6815 1.0000 1.0000 1.2630 1.0000

由仿真结果可知，本次已知关节初始和终止关节角度，并采用jtraj规划机器人轨迹，得到机器人从角度qz到qr的关节角度、角速度、角加速度[6]。然后运用机器人的逆动力学求解，得到各关节所需要提供的力矩tau对应参数，求解结果第一行为时间t=0时的6个关节数值，实际操作时t的间隔为t=0.056 s，结果为27*6的行列式，为了更好显示求解结果，本次论文采用时间间隔为t=0.5 s，结果为4*6的行列式。在实际运用时为了更精确的显示每个时间点的关节力矩，应当合理设置时间间隔[7]。当机器人末端受到作用力和重力加速度，此时各个关节求解得到的关节力矩为tau1，说明不同状态时施加给关节的力矩是不同的。

2　机器人控制

通过各种控制手段控制机器人完成各种任务和动作[8]，确定任务目标动作要求之后需要设计一个控制系统，并且确定系统的输入、输出、控制器件和程序[9]。为了更清晰直观表述系统参数，如果对输入和输出做一个数据测量，比如设定某一个关节电机将力矩从0.846 0加速到15.670 6，把这个测量结果勾画出来，那么这便是一个力矩变化曲线。如何准确快速将电机力矩地从0.846 0加速到15.670 6，采用一个的力矩反馈控制[10]。调用MATLAB中Robotics Toolbox的机器人函数，可以进行机器人的运动学、动力学、轨迹变换、机器视觉等功能[11]，图1是Matlab Robotics Toolbox库函数的block库。

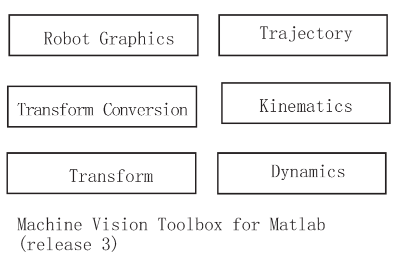


图1　Robotics toolbox工具库

通过已知初始和终止关节角度用jtral规划机器人轨迹，得到关节的角度q、角速度qd、角加速度qdd信息，然后经过逆动力学求解得到各个关节的驱动力矩[12]。Tfb脉冲群发生器校准模拟器保证发生器输出的波形正确。关节驱动力矩经过正动力学求解得到各个关节的角度、角速度、角加速度[13]。图2为计算转矩控制主函数，图3为力矩反馈控制主函数。

图4左边3幅是机器人计算转矩仿真结果图，分别为机器人的位置、速度、加速度仿真曲线，关节位置平缓变化。关节速度先增大后减小为零，并且速度曲线关于仿真第五步对称，说明速度变化符合能

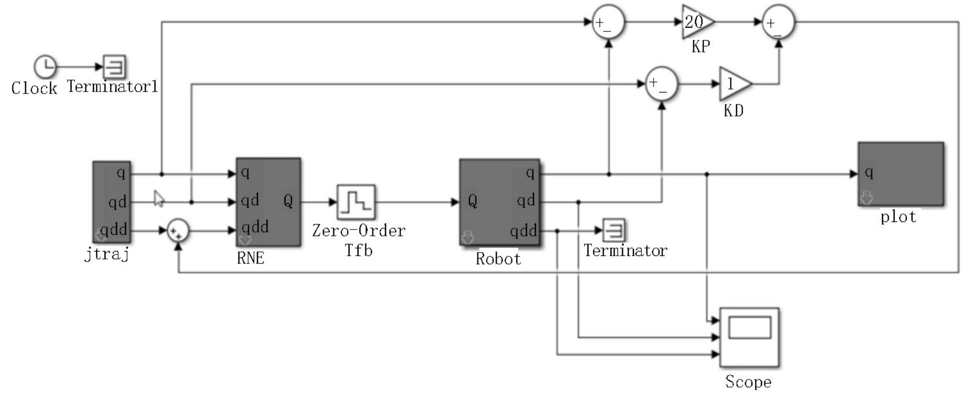


图2　计算转矩控制主函数

量守恒[14]。在加速度图中前五步与后五步大小相等方向相反,说明加速度变化和为零[15]。图4右边三幅为力矩反馈仿真结果,分别为机器人经过力矩反馈的位置、速度、加速度仿真曲线,对比左图无力矩反馈仿真曲线,关节位置曲线变化一致[16]。关节速度在仿真过程中曲线平滑,速度在起步有微弱的抖动变化,但是符合能量守恒。在加速度曲线图中可以看出加速度变化很快,符合机器人动力驱动要求。

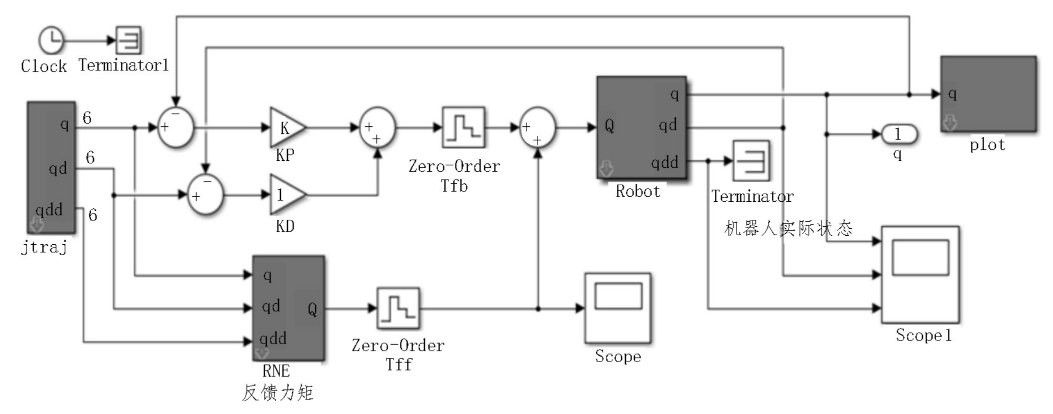


图3 力矩反馈控制主函数

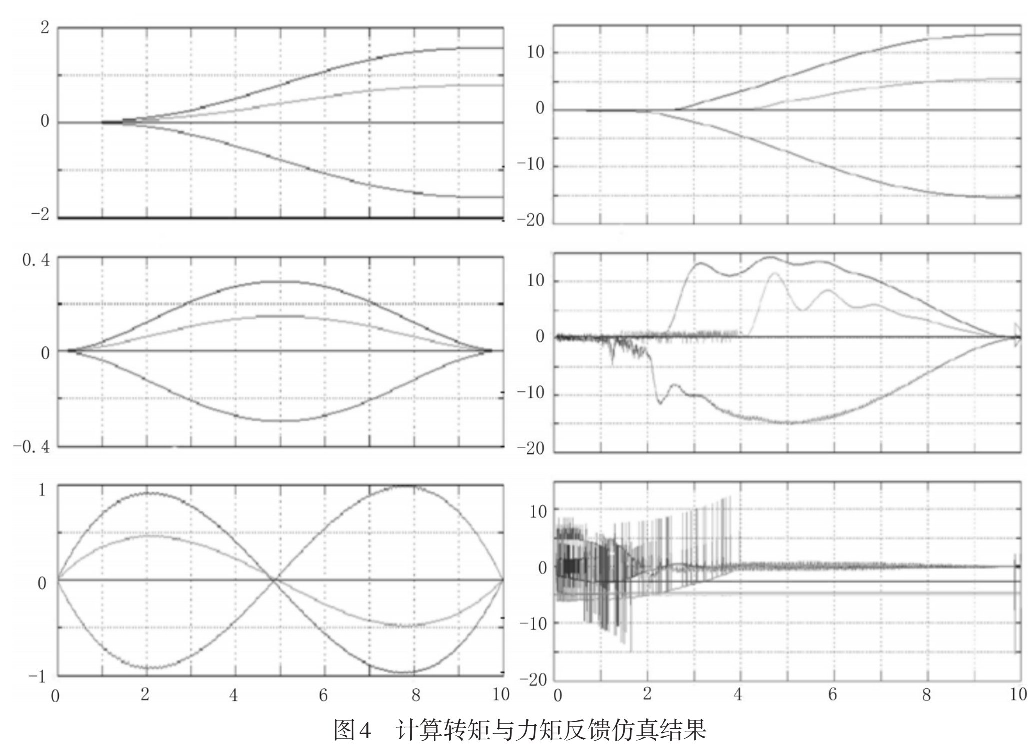


图4 计算转矩与力矩反馈仿真结果

3 结 论

利用MATLAB安装的机器人工具箱,对机器人的动力学和关节力矩仿真,达到很好的仿真效果。仿真结果验证了所建立的机器人动力学方程和基于机器人末端执行器位置、速度、加速度与关节转矩之间关系的正确性,为机器人进行机构力矩最优化设计与轨迹控制最优解提供了一种简单和实用的手段。为进一步研究机器人动力学做理论铺垫。

参考文献:

[1] Tiehong Gao.Dynamic simulation of water strider robot based on ADAMS and MATLAB[C].19 February 2013.10.1109/ICACI.2012.6463293

[2] 陈炜,王立柱,张林琰,等.下肢外骨骼康复机器人动力学分析与仿真[J].机械设计,2018,35(4):71-77.

[3] 韩军,尹常志.2P3R型机床上下料机器人动力学分析及仿真[J].机床与液压,2018,46(11):46-

(下转第147页)

(10):166-168.
[4] 邹浩，于仲安，赵凯贤，等.高精度锂离子电池组电压采集及荷电状态预测[J].科学技术与工程，2017(5):213-217.
[5] 李宇佳，王艳，殷天明.一种电动汽车电池隔离采集电路的可靠性研究[J].电子设计工程，2018，26(3):103-106.
[6] 高飞，杨凯，王康康，等. 锂离子电池安全预警防护系统设计与验证[J]. 电子设计工程，2019，27(1):1-4.
[7] 李玲，耿晓龙，管磊.高压锂电池组单体电压采集电路拓扑研究[J].电源技术，2014，38(8):1447-1449.
[8] 于仲安，邹浩，何俊杰，等.高精度锂离子电池电压采集系统设计[J].电源技术，2018，42(7):977-980.
[9] 郑林锋，姜久春，王占国，等. 锂离子电池电压在线与离线检测设计[J]. 电源技术，2015，39(1):26-29.
[10]朱晓舟，陈民武，刘湘东，等.基于LabVIEW的PEMFC单电池电压巡检系统设计[J]. 储能科学与技术，2018(1):123-127.
[11]陈英杰，杨耕，祖海鹏，等.基于恒流实验的锂离子电池开路电压与内阻估计方法[J].电工技术学报，2018，33(17):3976-3988.
[12]刘新天，张晴，何耀，等.锂电池组电压采样线序检测模块的设计与应用[J].电源技术，2018，42(12):1828-1831.
[13]曾洁，徐升荣，刘宾坤，等.一种小功率甲醇燃料电池的电压巡回测量电路[J].电子设计工程，2017，25(14):68-72.
[14]王曦，伍联营，张伟涛，等.铅酸电池开路电压的测量及其与累积放电量的关系[J].储能科学与技术，2018，7(1):75-79.
[15]高锰，池丹丹，梁秀满，等.基于USB接口的质子交换膜燃料电池电压监测[J].电源技术，2017，41(6):869-870.
[16]贺健，赵建平，代作晓.一种锂电池电压检测的拟合方法[J].现代电子技术，2015，38(10):134-136.

(上接第142页)

49，53.
[4] 陈骏，陈威. 直角坐标机器人刚柔耦合动力学仿真分析[J]. 新技术新工艺，2018(1): 32-34.
[5] 奚鹰，袁浪，郑钰馨，等. 基于Adams的机器人用RV减速器动力学仿真研究[J]. 中国工程机械学报，2018，16(1): 42-48.
[6] 杨前明，阮益，张君. 基于ADAMS的重载复合搬运机器人动力学仿真分析[J]. 新型工业化，2018，8(3): 34-39.
[7] 王一辉. 基于ADAMS的六自由度机器人关节驱动力矩仿真分析[J]. 中国设备工程，2018(1): 139-140.
[8] 宫赤坤，张吉祥，袁立鹏. 仿生四足机器人运动学与动力学仿真分析[J]. 组合机床与自动化加工技术，2017(9): 1-4.
[9] 徐有胜. 一种六自由度串联机器人的运动学与动力学仿真分析[D].深圳:深圳大学，2017.
[10]王林军，陈艳娟，张东，等. 基于MATLAB与ADAMS的Delta机器人运动学和动力学仿真分析[J]. 中国农机化学报，2016，37(11):102-106，122.
[11]周会成，任正军. 六轴机器人设计及动力学分析[J]. 机床与液压，2014，42(9):1-5.
[12]林义忠，欧爽翔. 六自由度焊接机器人本体结构设计及动力学仿真[J]. 机械设计与制造，2014，(6):21-23，27.
[13]陈培华，曹其新，马宏绪. 基于力控制模式的四足仿生机器人的动力学仿真[J]. 东南大学学报：自然科学版，2013，43(S1):107-111.
[14]褚金钱，徐方. 基于Solidworks与Matlab的码垛机器人动力学仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术，2013(9):28-31.
[15]陈红亮，陈升芳，罗玉峰. 基于ADAMS软件的3-RPS并联机器人动力学仿真[J]. 机床与液压，2013，41(5):154-155.
[16]牛欢. PUMA560关节型机器人动力学分析及控制方法的研究[D].青岛：青岛大学，2017.